

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Patentschrift  
10 DE 100 13 409 C 1

51 Int. Cl. 7:  
B 29 C 70/48

21 Aktenzeichen: 100 13 409.2-16  
22 Anmeldetag: 17. 3. 2000  
43 Offenlegungstag: -  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 23. 11. 2000

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

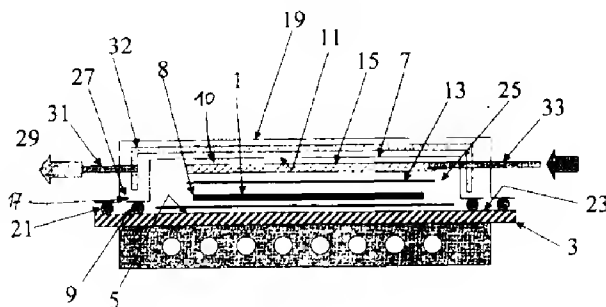
73 Patentinhaber:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Filsinger, Jürgen, Dipl.-Ing., 85653 Aying, DE;  
Lorenz, Torsten, Dipl.-Ing., 86161 Augsburg, DE;  
Stadler, Franz, 85113 Böhmfeld, DE; Utecht, Stefan,  
86916 Kaufering, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
DE 198 13 105 A1

54 Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von faserverstärkten Bauteilen mittels eines Injektionsverfahrens

57 Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Kunststoff-Bauteilen aus trockenen Faserverbund-Halbzeugen mittels eines Injektionsverfahrens zur Injektion von Matrix-Material, wobei ein Anordnen des Faserverbund-Halbzeugs (1), an dessen einer Oberfläche (11) eine Fließhilfe (15) angeordnet ist, auf einem Werkzeug (3), die Bildung eines ersten Raums (10) mittels einer gas-durchlässigen und Matrix-Material-undurchlässigen Membran (7), der die Halbzeuge (1) umgibt, und die Bildung eines zwischen dem ersten Raum und der Umgebung gelegenen zweiten Raums (27) mittels einer gas- und Matrix-Material-undurchlässigen Folie (19) vorgesehen sind, wobei durch Absaugen von Luft aus dem zweiten Raum (27) Matrix-Material aus einem Vorratsbehälter in den evakuierten ersten Raum (10) gesaugt wird und die Fließhilfe (15) eine Verteilung des Matrix-Materials über der dieser zugewandten Oberfläche (11) des Halbzeugs (1) und ein Eindringen desselben senkrecht in das Halbzeug (1) bewirkt.



DE 100 13 409 C 1

DE 100 13 409 C 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Kunststoff-Bauteilen aus trockenen Faserverbundhalbzeugen mittels eines Injektionsverfahrens und einer anschließenden Niederdruckaushärtung sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Derartige Verfahren verwenden trockene Faserverbundhalbzeuge, sogenannte Preforms, um Bauteile mit abwickelbarer, nicht abwickelbarer oder nicht vollständig abwickelbarer Geometrie herzustellen. Das trockene Faserverbundhalbzeug kann hierbei als Gewebe, als Multiaxialgelege oder als kettverstärktes unidirektionales Halbzeug vorliegen. Die genannten Preforms finden bei der Herstellung von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoff Anwendung und sind ein Zwischenarbeitsgang, bevor die Infiltration durch Harz und die Aushärtung erfolgt.

Ein derartiges Verfahren ist als sogenanntes Resin Film Infusion (RFI) Verfahren bekannt. Hierbei werden trockene Kohlefasern (CFK), CFK-Gewebe oder CFK-Gelege in einer Aushärtevorrichtung abgelegt und von außen mit einer definierten nicht flüssigen Harzfilmmenge belegt. Die so bestückten und evakuierten Aushärtevorrichtungen werden dann in einem Autoklaven oder einem anderen Druckbehälter unter Temperatur und Druckbeaufschlagung ausgehärtet. Die Verwendung von Druckbehältnissen und die hierfür notwendigen komplexen Werkzeuge sind jedoch sehr aufwendig und machen derartige Verfahren auch komplex hinsichtlich einzuhaltender Temperaturen und Drücke. Dadurch ist der Anwendungsbereich solcher Verfahren begrenzt.

Weiterhin ist die Verwendung trockener Preform-Teile aus der DE 198 13 105 A1 bekannt, in der ein Verfahren zur Herstellung von Faserverbund-Bauteilen offenbart ist, bei dem die Fasern und das Matrixmaterial in einem mindestens zwei Teile umfassenden, einen Form-Hohlraum bildenden Werkzeug geformt werden, wobei die im Formhohlraum befindliche Luft entweichen kann. Dabei wird Formhohlraumseitig vor den Öffnungen eine poröse Membran angebracht, deren Poren derart dimensioniert sind, daß die Luft ungehindert abführbar ist und das Matrix Material im Form-Hohlraum zurückgehalten wird.

Zwar wird bei der Lösung der DE 198 13 105 A1 auf die Druckaufbringung verzichtet. Jedoch ist ein Nachteil dieses Gegenstands, daß mit diesem Verfahren die Größe des herzustellenden Bauteils begrenzt ist, da das Matrix-Material nur begrenzt in die Fasern, d. h. die Preforms eingeführt werden kann, sofern hierfür z. B. ein zentraler Matrixanguß vorgesehen ist, da dann die Matrix längs der Preformebene, also entlang der Fasern, fließen muß. Diese Fließrichtung hat hierbei für die Matrix auf Grund der zurückzulegenden Strecke und des Werkstoffwiderstandes den größten Fließwiderstand. Eine Durchtränkung ist somit in der Fließlänge begrenzt. Alternativ kann bei DE 198 13 105 A1 die Matrix flächig eingebracht werden. Hierzu dienen Harzvorratsbehälter, welche sich auf der Bauteiloberfläche befinden und jeweils eine eigene aufwendige Harzuführung bis zur Preform benötigen und somit an jeder Position das Risiko einer Undichtigkeit (Ausschuß-Risiko) aufweisen.

Ein weiterer Nachteil ist, daß dieses Verfahren nur bedingt sehr hohe, an das herzustellende Bauteil gestellte Qualitätsstandards erfüllen kann, da durch die potentiellen Harzdurchführungen durch die Vakuumfolie und die Membran bis zur Preform-Oberfläche an vielen Stellen des Bauteiles Matrixwerkstoff durch die Membrane dringen kann und diese von oben versiegelt. Die Funktion der Entlüftung ist in diesem Fall nicht mehr gegeben und durch die Reaktion während des Aushärtvorganges (z. B. durch eingeschlossene Luft, chem. Abspaltung, flüchtige Bestandteile

u. a.) bilden sich innerhalb des Laminates Poren, welche nicht entsorgt werden können und die Bauteilqualität vermindern.

Andere bekannte Niederdruckverfahren wie z. B. VARI (Anmeldung unbekannt, DLR) verzichten auf die Membran und die zweiteiligen Vakuumräume. Sie lösen die Vermeidung von Poren durch eine Prozeßführung von Vakuum und Temperatur außerhalb des Siedebereiches des Matrixwerkstoffes. Es entstehen somit keine Poren im Bauteil. Allerdings ist von Nachteil, daß die Temperatur- und Vakuumführung an jeder Stelle des Bauteiles sehr exakt eingehalten werden muß, um nicht lokal in den Siedebereich der Matrix mit anschließender lokalen Porenbildung zu gelangen. Bei großen Bauteilen ist diese exakte Prozeßführung nur schwer und aufwendig realisierbar. Weiterhin von Nachteil ist bei diesem Verfahren, daß durch das permanente Vakuumsaugen Matrixwerkstoff aus dem Bauteil gesaugt werden kann, welche wieder für Poren verantwortlich sind. Zusätzlich ist eine Harzfalle o. ä. erforderlich um eine Beschädigung der Vakuumpumpe durch austretenden Matrixwerkstoff zu verhindern.

Die Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, ein Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Kunststoff-Bauteilen aus trockenen Faserverbundhalbzeugen mittels eines Injektionsverfahrens sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zu schaffen, das sich auch für größere Bauteile eignet und mit dem ein möglichst einfacher Verfahrensablauf und gleichzeitig eine hohe Bauteilqualität erreichbar ist.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst.

Mit der erfindungsgemäßen Lösung lassen sich insbesondere Bauteile sehr hoher Qualität erzielen. Dies ist insbesondere für hochbelastete tragende CFK-Luftfahrtstrukturen vorteilhaft. Typische Kenngrößen für die Qualität der Bauteile ist z. B. der Porengehalt innerhalb des ausgehärteten CFK-Laminates und die Temperaturbeständigkeit, gemessen als sogenannter TG-Wert, welcher ein Maß für die sogenannte Glasübergangstemperatur des Matrixwerkstoffes nach dem Prozeß darstellt.

Insbesondere dient die erfindungsgemäße Lösung der Herstellung faserverstärkter Kunststoffbauteile aus Kohlefasern (CFK), Glasfasern (GFK), Aramidfasern (AFK), Borfasern (BFK) oder Hybridwerkstoffen mit abwickelbarer, nicht abwickelbarer oder nicht vollständig abwickelbarer Geometrie. Dabei eignet sie sich auch zur Herstellung unverstärkter und verstärkter, großflächiger Beplankungsfelder, Kunststoffwerkzeugen oder Schäftungsreparaturen von geschädigten FVW Bauteilen. Die Verstärkung kann eine sogenannte Integralverstärkung (Profile aus CFK u. a., Profile als Kombination von Sandwich und CFK u. a.) oder eine typische flächenhafte Sandwichstruktur sein.

Die erfindungsgemäße Lösung bietet ein kosteneffektives Verfahren zur Herstellung faserverstärkter Bauteile, Kunststoffwerkzeuge und Reparatur-Patches für Schäftungen durch eine Vakuuminjektionstechnik und eine autoklavlose bzw. überdrucklose Aushärtung unter Vakuum.

Die Erfindung wird im folgenden an Hand der beiliegenden Figuren beschrieben, die zeigen:

**Fig. 1** einen Schnitt durch die erfindungsgemäße Vorrichtung in schematischer Darstellung, mit der das erfindungsgemäße Verfahren durchführbar ist,

**Fig. 2** einen typischen Aufbau für ein integralverstärktes Bauteil als Sandwichhutprofilvariante in der Vorrichtung nach der **Fig. 1**,

**Fig. 3** einen typischen Aufbau für ein integralverstärktes Bauteil als T-Profilvariante in der Vorrichtung nach **Fig. 1**

**Fig. 4** einen typischen Temperatur- und Vakuumverlauf

über die Zeit für ein sogenanntes 350°F System,

Fig. 5 einen typischen Temperatur- und Vakuumis-Verlauf über die Zeit für ein sogenanntes Raumtemperatur (RT)-System,

Fig. 6 einen Schnitt durch eine alternative Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in schematischer Darstellung.

Die in Fig. 1 dargestellte Vorrichtung zeigt das herzustellende Bauteil oder trockene Faserverbund-Halbzeuge 1, das auf einem Werkzeug 3 z. B. mittels eines Aufbaus 5 angeordnet ist. Das Bauteil oder Laminat kann dabei ein Kunststoffbauteil aus Kohlefasern (CFK), Glasfasern (GFK), Aramidfasern (AFK), Borfasern (BFK) oder Hybridwerkstoffen mit abwickelbarer, nicht abwickelbarer oder nicht vollständig abwickelbarer Geometrie sein und insbesondere zur Herstellung unversteifter und versteifter, großflächiger Beplankungsfelder, Kunststoffwerkzeugen oder Schäftungsreparaturen von geschädigten FVW-Bauteilen verwendet werden. Die Versteifung kann dabei eine sogenannte Integralversteifung (Profile aus CFK u. a., Profile als Kombination von Sandwich und CFK u. a.) oder eine typische flächenhafte Sandwichstruktur darstellen. Das Werkzeug 3 weist eine zur Aufnahme des Bauteils 1 bzw. gegebenenfalls des Aufbaus 5 geeignete Form auf und kann aus verschiedenen geeigneten Materialien, z. B. Holz, Stahl, Blech, Glas und dergleichen, gebildet sein.

Das Bauteil 1 ist mit einer semipermeablen Membran 7 überzogen, die gasdurchlässig ist, jedoch den Durchtritt von Matrix-Material verhindert. Die Membran 7 ist außerhalb der Umfangsfläche 8 aber möglichst dicht am Bauteil 1 mittels einer Dichtung 9 abgedichtet, die der Abdichtung des durch die Membran 7 und der Auflage 5 bzw. der Werkzeugoberfläche 3 gebildeten ersten Raums 10 dient. Alternativ kann die Membran 7 auch um das gesamte Bauteil herumgeführt sein, wie es in der Fig. 6 dargestellt ist. Dies kann mit der Dichtung 9 (Fig. 6) oder auch ohne einer solchen durch einteiliges Ausbilden der Membran 7 erfolgen. Zwischen dem Bauteil 1 und der Membran 7 kann über der gesamten der der Membran 7 zugewandten Oberfläche 11 des Bauteils 1 ein Abreißgewebe 13 (optional) und ein Abstandhalter als Fließhilfe 15 angeordnet sein, das bzw. der die Funktion hat, die Membran 7 in einem Abstand zur Oberfläche 11 des Bauteils 1 zu halten. Die Fließhilfe 15 kann eine Art Rost oder Gitter oder auch ein steifes Gewebe bzw. Gewirk oder Geflecht sein, welches sich nicht unter Vakuum stark kompaktieren läßt und z. B. aus den Werkstoffen Metall, Kunststoffen oder textilen Halbzeugen besteht.

Die Anordnung 17 aus Aufbau 5, Bauteil 1, Membran 7 mit Dichtung 9 sowie mit Abreißgewebe 13 und Fließhilfe 15 ist überdeckt mit einer Folie 19, die gas- und durchlässig ist. Diese ist um den Umfang der Membran 7 herum mit einer Dichtung 21 auf dem Werkzeug 3 abgedichtet, so daß der von der Oberfläche 23 des Werkzeugs 3 und der Innenwand 25 der Folie 19 gebildete zweite Raum oder Innenraum 27 zur Umgebung dicht ist. Zwischen der Folie 19 und der Membran 7 ist ein Lüftergewebe 32 eingelegt, welches z. B. ein Glasgewebe ein Vlies o. a. sein kann. Dieses Lüftergewebe 32 hat die Funktion die durch die Membran aus dem Innenraum 27 abgesaugte Luft und Gase im Innenraum 25 entlang der Membranoberfläche zur Absaugung durch die Vakuumpumpe 29 zu leiten. Dieser Innenraum 27 ist mittels einer Vakuumpumpe 29 (nicht gezeigt) und einer entsprechenden in den Innenraum 27 hineinführenden Gasleitung 31 evakuierbar. Weiterhin verläuft in den Innenraum 27 eine zweite Leitung 33, durch die Matrix-Material und insbesondere Harz in den Innenraum 27 eingeführt werden kann.

Zur Einführung von Matrix-Material in das Bauteil 1 füh-

ren Schläuche oder Leitungen 33, die an einen Harzvorratsbehälter (nicht gezeigt) angeschlossen sind, in einen im ersten Raum 10 gelegenen Raum 25. Das Werkzeug und der Vorratsbehälter für das Matrix-Material stehen jeweils entweder auf Heizplatten, innerhalb einer Wärmekammer, innerhalb einer heizbaren Flüssigkeit (Ölbad o. ä.) oder innerhalb eines regelbaren Ofens, sofern das gewählte Harzsystem eine thermische Behandlung während der Injektion benötigt.

An die Folie 19, an das Abreißgewebe 13, an die Membran 7, an das Lüftergewebe 32 und an die Fließhilfe 15 werden als gemeinsame Anforderung eine Beständigkeit gegen die verwendeten Matrixsysteme während der Prozeßdauer und eine Beständigkeit gegenüber während des Prozesses auftretenden Temperaturen gefordert. Entsprechend der abzubildeten Geometrie muß eine Ablage in dieser Geometrie durch Dehnung, Faltenlegung o. ä. möglich sein.

Die Folie 19 ist eine dem Stand der Technik entsprechende Vakuum-Membran, welche gas- und durchlässig ist und die oben ausgeführten Merkmale aufweist. Als Funktion hat es die Aufgabe, den zweiten Raum 27 gegenüber der Umgebung abzudichten. Als typische Materialien hierfür kommen Folien oder Gummi-Membranen in Betracht. Beispiele für eine 180°C (350°F) Anwendung wären z. B. Folien auf Basis PTFE, FEP u. a. Andere Werkstoffe kommen je nach gewählten Matrixsystem und dessen spezifischen Aushärtetemperaturen unter Beachtung der oben beschriebenen Forderung in Betracht.

Das Abreißgewebe 13, in der Literatur auch als Peel Ply bezeichnet, hat die Funktion, daß sich nach der Prozeßführung die mit Matrixmaterial gefüllte Fließhilfe 15 leichter durch abziehen (abreißen = Abreißgewebe), d. h. von dem Bauteil 1 trennen läßt, da alle aufgezeigten Hilfsstoffe nur als Hilfsmittel zur Herstellung des Bauteils 1 dienen. Das Abreißgewebe 13 ist so beschaffen, daß es keine dauerhafte Verbindung mit dem Matrixwerkstoff und der Bauteiloberfläche eingeht. Dieses wird durch die Oberflächenstruktur des Abreißgewebes und/oder durch zusätzliche Antihafbeschichtungen (wie z. B. PTFE, Silikon o. ä.) erreicht. Als typische Materialien sind Glasgewebe, Nylongewebe u. ä. anzuführen. Das Abreißgewebe muß gasdurchlässig und ebenso durchlässig für das Matrixmaterial in beiden Richtungen sein.

Die Membran 7 ist eine semipermeable Membran aus z. B. technischem Kunststoffmaterial, welche sich hinsichtlich der temperatur- und Medienbeständigkeit an den prozeßbedingungen orientiert. Weiterhin ist diese Membran durchlässig für Gase ist, jedoch ist sie für Flüssigkeiten mit Viskositäten vergleichbar Wasser nicht durchlässig. Dieses Verhaften wird durch in der Membran befindliche gasdurchlässige Poren erreicht, welche mehr oder minder großflächig auf der Membranoberfläche verteilt sind. Die Größe der Poren ist so gewählt, daß das Matrixsystem nicht durchdringen kann. Die Dicke der Membran bewegt sich im Zehntelmillimeter Bereich. Durch die Verwendung von typischen Kunststoffmaterial ist eine ausreichende Flexibilität zum Drapieren und Formen vorhanden.

Das Lüftergewebe 32 oberhalb der Fließhilfe 15 hat die Funktion die durch die Membran abgesaugte Luft und andere flüchtige Bestandteile zur Absaugung an die Vakuumpumpe 29 zu leiten. Dieses Material kann aus einem beliebigen Werkstoff sein, sofern dieser ausreichend temperatur-, medienbeständig gegenüber den im Prozeß notwendigen Werkstoffen ist und eine Luftleitung in Längsrichtung möglich ist. Eingesetzt werden hierfür flauschige Matten, Gewebe, Gewirke, Geflechte u. a., welche aus Metall, Kunststoff u. a. Werkstoffen sein kann.

Die Fließhilfe 15 hat die Funktion, den in den Raum 25

durch die Matrixzuleitung gelangten Matrixwerkstoff auf der Bauteiloberfläche 1 das Verteilen zu ermöglichen. Die Fließhilfe 15 nimmt hierbei eine Funktion eines Fließkanals an. Die Fließhilfe 15 weist dabei eine Mindestdicke unter dem Vakuumaufbau der Folie 19 auf, um dieses Fließen zu ermöglichen. Es ist somit ein Abstandshalter, der einen Fließkanal zwischen der Membran 7 und dem Bauteil 1 bildet. Die Fließhilfe kann ein Geflecht, ein Gewebe, ein Gewirk o. ä. sein, welches durch möglichst eine grobmaschige Struktur aufweist, um einen geringen Fließwiderstand zu erzeugen. Als Werkstoff können beliebige Werkstoffe aus z. B. Metall oder Kunststoff o. a. verwendet werden, sofern die oben angeführten gemeinsamen Mindestforderungen (Temperatur und Medienbeständigkeit) erreicht werden. Die Matrix-Zuleitung 33 kann zur Unterstützung des Matrixtransportes beliebig weit in den ersten Raum 10 geführt werden. Eine Verzweigung oder mehrere Zuleitungen sind zulässig. Innerhalb des ersten Raums 10 kann diese Matrixzuleitung Öffnungen aufweisen, welche z. B. Löcher, Querschlitze, Längsslitze o. ä. darstellen. Hierdurch wird der Harztransport in der Fließhilfe unterstützt.

Fig. 2 und Fig. 3 zeigen die erfindungsgemäße Vorrichtung nach der Fig. 1, nur ist dort zu Veranschaulichung jeweils ein andersartiges Bauteil 1 dargestellt, wobei Bestandteilen gleicher Funktion die Bezugszeichen der Figur zugeordnet sind. Es ist erkennbar, daß sich die erfindungsgemäße Vorrichtung für nahezu beliebige Formen von Bauteilen eignet. Bei Fig. 2 handelt es sich um die schematische Darstellung eines Beplankungsfeldes (Bauteil 1), welches in einer Richtung durch Hutprofile versteift ist. Diese Hutprofile weisen einen Schaumkern 35 oder einen mit beliebigen anderen Werkstoffen gebildeten Kern mit geschlossener Oberfläche und darüber abgelegte trockene FVW Halbzeuge 34 in Form eines Plutes auf. Die FVW Halbzeuge 34 sind hierbei aus dem gleichen oder ähnlichen Werkstoffen wie das Bauteil 1 gebildet. Der Schaumkern 35 und die Halbzeuge 34 sind Bestandteile des Bauteiles 1.

In der Fig. 3 ist das Bauteil 1 ebenfalls ein Beplankungsfeld, welches in Längsrichtung mit einem oder mehreren T-Profilen 36 versteift ist. Das herzustellende Bauteil 1 nach der Fig. 3 ist somit aus den Einzelbestandteilen 1 und 34 gebildet. Die T-Profile 36 sind hierbei aus dem gleichen oder ähnlichen Werkstoffen wie das Bauteil 1 gebildet. Zusätzlich wird für diese Bauteilvariante eine Stütze 37 zur Fixierung der trockenen und im ungetränkten Zustand labilen T-Profile 36 benötigt. Diese Stützen 37 können aus typischen festen oder semiflexiblen Werkzeugwerkstoffen wie z. B. Metall, Holz, Gummi, Kunststoff u. a. sein. Da ein direkter Kontakt mit dem Matrixwerkstoff erfolgt, muß dieser Werkstoff der Stützen 37 während des Prozesses gegenüber dem Matrixwerkstoff seine Form behalten.

In den Fig. 4 und 5 sind typische Verläufe für verschiedene Harzsystemklassen als Vakuumverlauf 91 und als Temperaturverlauf 92 dargestellt, wobei sich der Verlauf der Fig. 4 auf ein 350°F-System und die Darstellung der Fig. 5 auf ein RT-System bezieht.

Im einzelnen gliedert sich der Temperatur- und Vakuumverlauf in zumindest zwei Phasen, die Injektionsphase 101 und die Härtingsphase 103. Nach diesen Phasen kann noch eine Temperphase 102 vorgesehen sein. In der Injektionsphase 101 ist die Temperatur geringer als in der Härtingsphase 103.

Der Temperaturverlauf und die Vakuumsteuerung sind derart vorgesehen, daß bei dem ausgehärteten Bauteil eine optimale Qualität, geringe bis keine Poren und ein geeigneter Faservolumenanteil erreicht wird. Die Vorgaben für die Temperatur ergeben sich aus den Material-Anforderungen des Matrixwerkstoffes. Das Vakuum kann hierbei unabhän-

gig vom gewählten Matrixwerkstoff während des gesamten Prozesses bis zur Aushärtung, also dem Zustand in dem der Matrixwerkstoff seinen Aggregatzustand von flüssig in irreversibel fest geändert hat, auf gleichbleibendem Niveau gehalten werden. Übliche Werte und Toleranzen, die hierbei einzuhalten sind, sind z. B. 1 bis 10 mbar (Absolutdruck, nahe dem idealen Vakuum). Nach der Aushärtung 103 ist kein Vakuum mehr erforderlich. Die notwendigen Temperaturverläufe sind wie folgt charakterisiert: Während der Injektionsphase 101 bei vollen Vakuum ist eine Temperatur erforderlich, welche bestimmt wird durch die Viskositätskurve des Matrixwerkstoffes. Die Temperatur wird so gewählt, daß der Matrixwerkstoff ausreichend flüssig wird, um mittels Vakuumsaugen durch die Zuleitung 33 in den Innenraum 25 zugelassen. Dieses ist die Mindesttemperatur, welche für den Prozeß notwendig ist. Gleichzeitig darf diese Temperatur nicht so hoch gewählt werden, daß eine Aushärtung (Verlust von Viskosität, fester Zustand der Matrix) erreicht wird. Daher wird die Prozeßtemperatur so eingestellt (je nach gewählten Matrixwerkstoff), daß eine Injektion möglich ist (geringe Viskosität) und die verbleibende Zeit bis zur Aushärtung für die Injektion, also das nahezu vollständige Füllen des Innenraumes 25 mit Matrixwerkstoff ausreichend ist (Fachbegriff z. B. Gel-Time). Typische notwendige Viskositäten während der Injektionsphase sind hierbei z. B. Bereiche von 1 bis 1000 mPas. Typische Temperaturen bei einem 350°F (180°C) System sind z. B. 70 bis 120°C für die Injektionsphase 101, ca. 100 bis 180°C für die Aushärtungsphase 103 und für die Temperphase 102 Werte von ca. 160 bis 210°C.

Für ausgewählte Matrixwerkstoffe z. B. RT-Matrixwerkstoffe ist die Variante Injektionstemperatur 101 identisch Härtingstemperatur 103 identisch Temperphase 102 vorteilhaft.

Das Vakuum wird vor der Injektionsphase 101 (Fig. 4) oder vor derselben gebildet. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird für die Injektion ein Vakuum von typischerweise 1 bis 10 mbar erzeugt, das sich bis zum Ende der Aushärtungsphase erstreckt und nicht reduziert werden sollte. Im folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren beschrieben.

In ein beliebiges Aushärtewerkzeug werden trockene Materialien (z. B. CFK Gelege, Gewebe etc.) gemäß konstruktiven Vorgaben positioniert und somit ein Laminataufbau aus den Halbzeugeinzelschichten gebildet. Das Werkzeug ist eingetrennt, d. h. mittels Trennmittel oder Trennfolie und Abreißgewebe (Zusammen bildet es den Aufbau 5 an der Bauteilunterseite von 1.) vorbehandelt, um ein Verkleben des Matrixwerkstoffes mit dem Werkzeug zu verhindern und ein wieder entfernen des Bauteiles (Entformen) von der Werkzeugoberfläche zu ermöglichen. Das trockene Material des Bauteiles 1 ist vorzugsweise mit dem Abreißgewebe 13 versehen. Zusätzlich wird ein sogenannte Fließhilfe 15 oberhalb dieses Aufbaus durch einfaches Auflegen aufgebracht. Lokales seitliches Fixieren mit z. B. temperaturbeständigen Klebehändern ist bei komplexeren Bauteilen sinnvoll. Auf diese Fließhilfe 15 wird die nur für Luft, aber nicht für Flüssigkeiten durchlässige Membran 7 aufgelegt und mittels der Dichtung 21 abgedichtet. Anschließend wird das Lüftergewebe 32 über die Membran 7 gelegt und mittels der Folie 19 und der Dichtung 21 zur Umgehung abgedichtet. Die Matrixzuführungs-Leitung 33 und die Vakuumleitung 29 werden während dieses Vorganges mit handelsübliche Durchführungen und Dichtungen gemäß Fig. 1 eingebracht.

Nach der Aufbringung der genannten Materialien und der Folie oder Vakuumfolie 19 wird der erste Raum 10 mittels der Vakuumpumpe evakuiert. Gleichzeitig wird ein Matrixmaterial-Vorratsbehälter an das System angeschlossen, um

Matrix-Material in den ersten Raum 10 einzuleiten. Durch das Vakuum entsteht ein Druckgefälle, welches das Matrix-Material aus dem Vorratsbehälter in den evakuierten ersten Raum 25 saugt. Das Matrix-Material wird nunmehr mehr oder minder ungehindert und nahezu unabhängig von seiner Viskositäts-Charakteristik durch die Fließhilfe 15 und die Zuleitung 33 auf der Bauteiloberfläche verteilt. Vorhandene Luft wird hierbei durch das permanente Absaugen des Innenraumes 27 durch die Membran 7 entsorgt. Ein Fließen des Matrix-Materials innerhalb des Laminataufbaus, welcher durch einen großen Fließwiderstand gekennzeichnet ist, erfolgt hierbei nicht. Vielmehr erfolgt die Infiltration von Matrix-Material von der Bauteiloberfläche senkrecht nach unten in das Laminat. Der maximale Fließweg an jeder Stelle des Bauteiles ist somit direkt eine Funktion der Bauteildicke an diesem Punkt. Der Fließwiderstand ist somit sehr gering und folglich können auch Harzsysteme eingesetzt werden, welche auf Grund ihrer Viskosität in der Vergangenheit nicht infiltrationsfähig waren und Bauteile mit großen Abmessungen erzeugt.

Zur Vermeidung von lokalen Luftpolstern dient die Membran 7. Erfolgt z. B. ein Schließen der sich bildenden Fließfronten und somit das Entstehen eines geschlossenen Luftposters im Bauteil 1 des Innenraumes 25 ohne Anbindung an den Vakuumabfluß der Luft, kann kein Harz in diese Luftposter einfließen. Es würde eine Fehlstelle entstehen (keine Durchtränkung). Die luftdurchlässige Membran 7 verhindert diesen Effekt, da an jeder Stelle des Bauteiles Luft immer senkrecht zur Oberfläche durch die Membran in einen belüftbaren harzfreien Raum des Vakuumaufbaues 27 gelangen kann und dort oberhalb der Membran 7 durch den Vakuumanschluß 29 mit Hilfe des Lüftergewebe 32 abgesaugt wird. Die Membran ist für das Harz nicht durchlässig. Somit ist eine Überwachung der Fließfronten nicht erforderlich, da sich der Prozeß der Durchtränkung selbst regelt. Der Grad der Durchtränkung ist eine direkte Funktion der eingebrachten Harzmenge, welche dem Prozeß zur Verfügung gestellt wird, sowie der eingebrachten Fasermenge.

Sobald die vollständige Durchtränkung abgeschlossen ist, wird unter Beibehaltung des gleichen Vakuums die Aushärtung durch eine geeignete Temperatur durchgeführt. Die hierbei durch den chemischen Prozeß entstehenden Blasen (Matrixsieden, flüchtige Bestandteile etc.) würden bei den bekannten Prozessen zur Porenbildung im fertigen Bauteil führen. Durch die Membran 7 wird dieses jetzt verhindert, da eine permanente Entlüftung senkrecht zur Oberfläche des Bauteiles durch die Membran erfolgt.

Nach erfolgter Aushärtung kann das Bauteil entformt werden. Dies bedeutet, daß alle Verfahrens-Hilfsstoffe vom Bauteil 1 wieder z. B. durch abziehen von Hand entfernt werden und das Bauteil von dem Werkzeug 3 entfernt werden kann. Dieses nun entformte harte Bauteil mit aus den mit Matrix durchtränkten Halbzeugen kann je nach Anforderungsprofil einer reinen thermischen Nachbehandlung (Tempern im Schritt 102) unterzogen werden. Das Tempern kann auch vor dem Entformen erfolgen, muß aber zur Reduzierung der Werkzeug-Belegungszeiten nicht durchgeführt werden.

Die Größe der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren herstellbaren Bauteile ist zur oberen Grenze hin nahezu unbegrenzt. Die natürliche obere Grenze ist eher in der technischen Handhabbarkeit des Bauteiles (Transport etc.) als in dem Verfahren zu suchen. Eine Mindestgröße für diese Bauteile gibt es nicht. Die maximal realisierbare Dicke richtet sich nach den verwendeten Harztypen und der zur Verfügung stehenden Injektionszeit. Diese Injektionszeit wird durch wirtschaftliche nicht durch technische Grenzen bestimmt. Andere unerwünschte Nebeneffekte wie z. B. eine

exotherme Reaktion während der Aushärtung sind nur abhängig vom Harzsystem und nicht vom Verfahren.

Zusammengefaßt handelt es sich erfindungsgemäß um ein Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Kunststoff-Bauteilen aus trockenen Faserverbund-Halbzeugen mittels eines Injektionsverfahrens zur Injektion von Matrix-Material, bei dem ein Absaugen von Luft aus dem zweiten Raum 27 erfolgt, wodurch sich ein Druckgefälle von dem ersten Raum 10 zu dem zweiten Raum 27 ergibt und Matrix-Material aus dem Vorratsbehälter in den evakuierten ersten Raum 10 gesaugt wird, das wegen der Fließhilfe 15 über der der Membran 7 zugewandten Oberfläche 11 des Halbzeugs 1 verteilt und senkrecht in das Halbzeug 1 eindringt. Die Verknüpfung der Funktionen Verteilung des Matrixmaterials oberhalb der Bauteiloberfläche durch die Fließhilfe und der flächigen Entlüftungsmöglichkeit oberhalb des Bauteiles und der Fließhilfe durch die Membranfolie erzielt den gewünschten Qualitätserfolg bei einer überdrucklosen Aushärtung unter Vakuum.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Kunststoff-Bauteilen aus trockenen Faserverbund-Halbzeugen mittels eines Injektionsverfahrens zur Injektion von Matrix-Material mit den Schritten:

1.1 Anordnen des Faserverbund-Halbzeugs (1) auf einem Werkzeug (3), wobei an einer Oberfläche (11) des Halbzeugs (1) eine Fließhilfe (15) angeordnet ist,

1.2 Bildung eines ersten Raums (10) mittels einer gas-durchlässigen und Matrixmaterial-undurchlässigen Membran (7) zumindest einseitig um das Halbzeug (1) herum, wobei in den ersten Raum (10) Matrix-Material einführbar ist,

1.3 Bildung eines am ersten Raum (25) anliegenden zweiten Raums (27), der von der Umgebung mittels einer gas- und Matrixmaterial-undurchlässigen, gegenüber dem Werkzeug (3) abgedichteten Folie (19) abgegrenzt ist,

1.4 Absaugen von Luft aus dem zweiten Raum (27), wodurch Matrix-Material aus dem Vorratsbehälter in den evakuierten ersten Raum (10) gesaugt wird und die Fließhilfe (15) eine Verteilung des Matrixmaterials über der dieser zugewandten Oberfläche (11) des Halbzeugs (1) und ein Eindringen desselben senkrecht in das Halbzeug (1) bewirkt.

2. Vorrichtung zur Herstellung von faserverstärkten Kunststoff-Bauteilen aus trockenen Faserverbund-Halbzeugen mittels eines Injektionsverfahrens zur Injektion von Matrix-Material mit einem Werkzeug (3) zum Anordnen des Faserverbund-Halbzeugs (1), einer gas-durchlässigen und Matrixmaterial-undurchlässigen Membran (7), die zumindest einseitig um das Halbzeug (1) herum angeordnet ist und einen ersten Raum (10) bildet, in den Matrix-Material einführbar ist, einer an einer Oberfläche (11) des Halbzeugs (1) angeordneten Fließhilfe (15), einem am ersten Raum (25) anliegenden zweiten, gegenüber dem Werkzeug (3) abgedichteten Raum (27), der von der Umgebung mittels einer gas- und Matrixmaterial-undurchlässigen Folie (19) abgegrenzt ist, wobei bei Absaugen von Luft aus dem zweiten Raum (27), Matrix-Material aus dem Vorratsbehälter in den evakuierten ersten Raum (10) gesaugt wird und die Fließhilfe (15) eine Verteilung des Matrixmaterials über der dieser zugewandten Oberfläche (11) des Halbzeugs (1) und ein Eindringen desselben

senkrecht in das Halbzeug (1) bewirkt.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

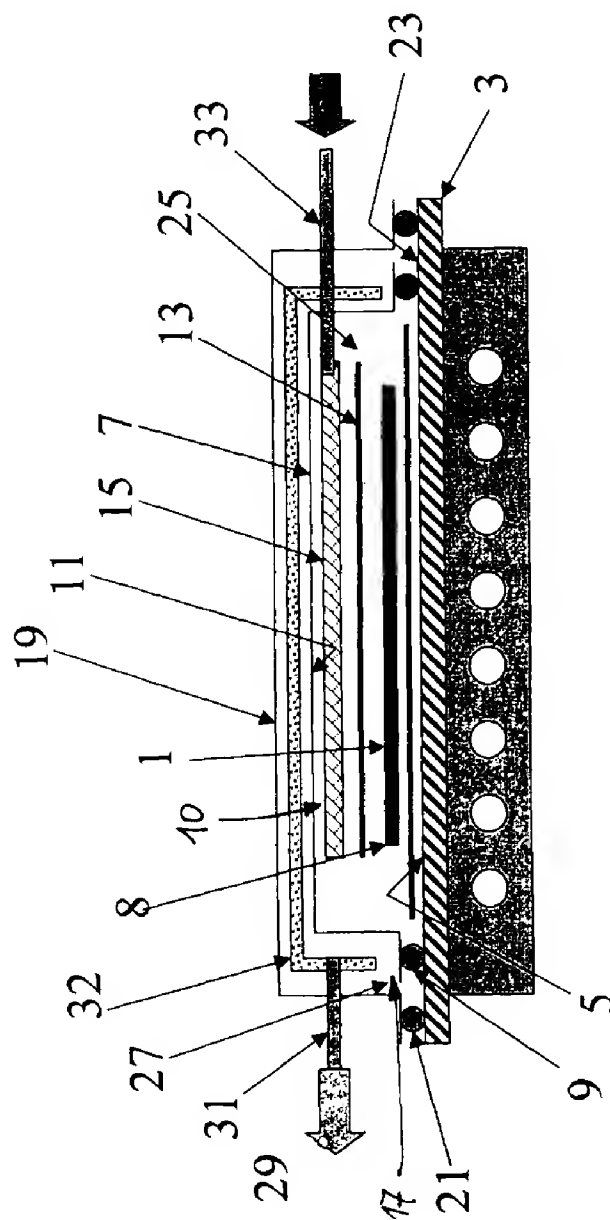
45

50

55

60

65



15.

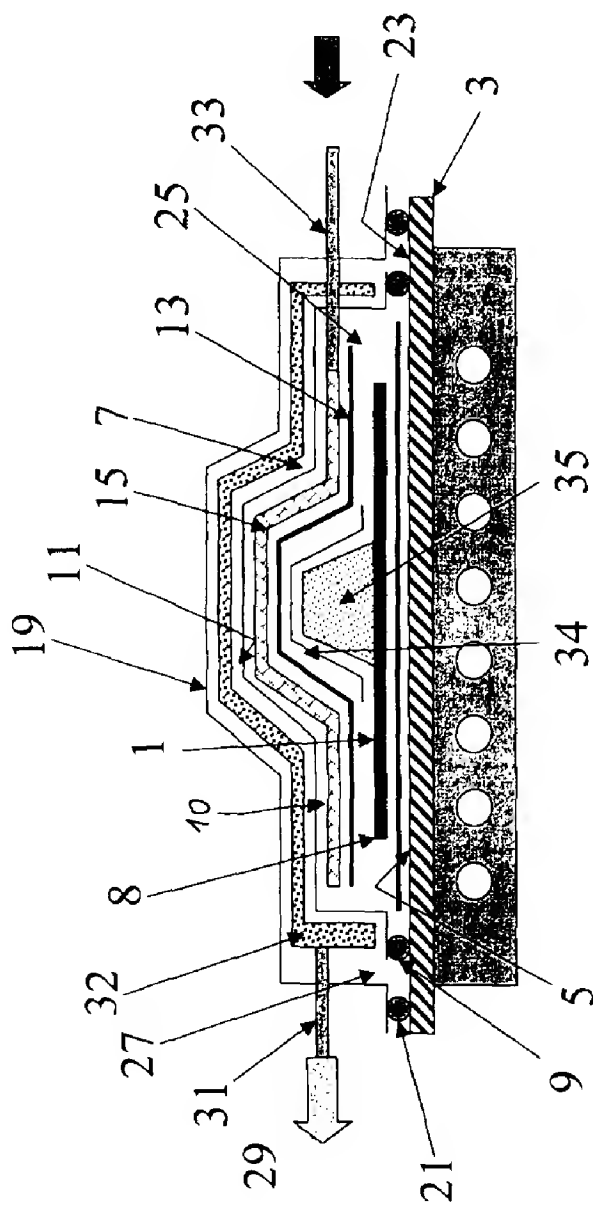


Fig. 2

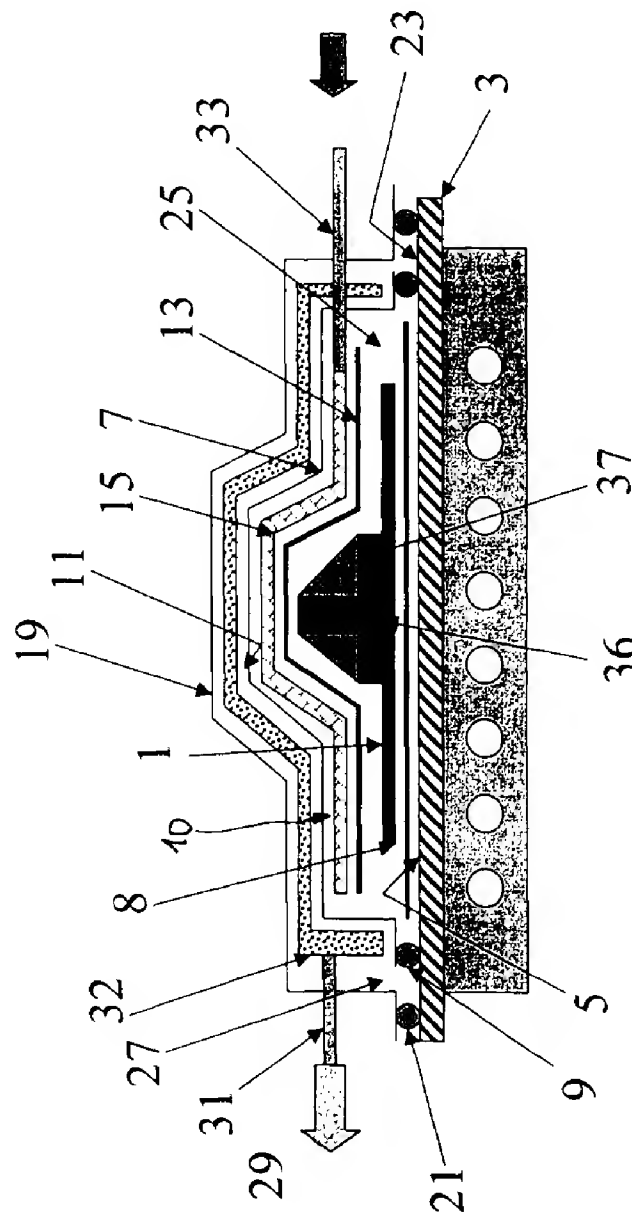


Fig. 3

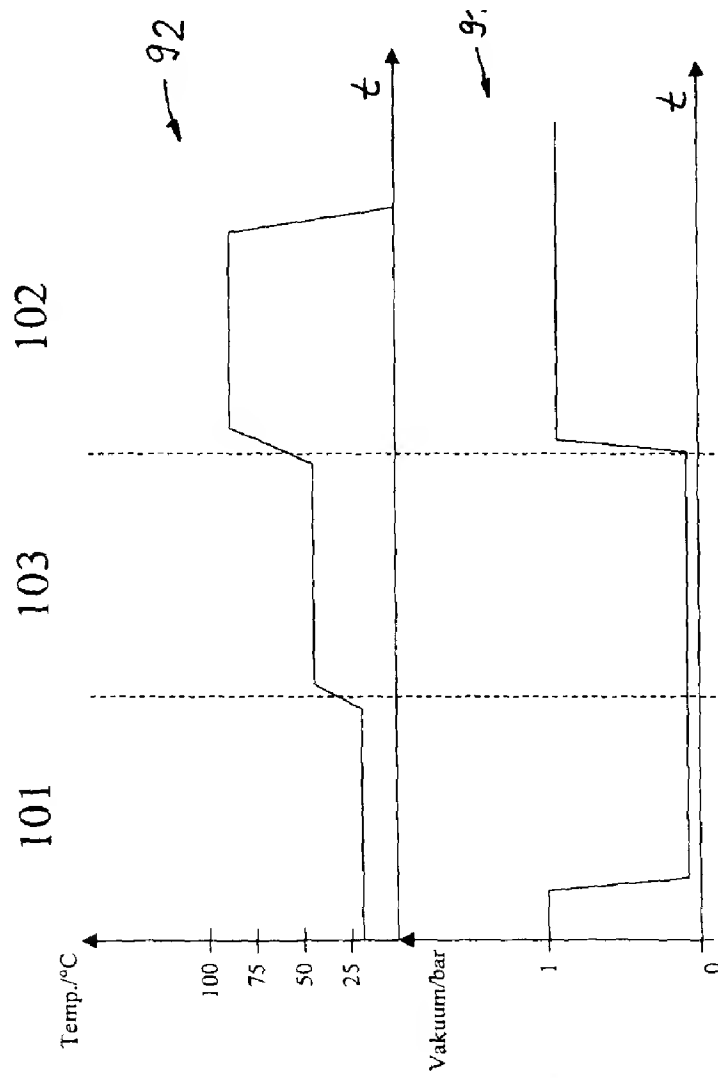


Fig. 4

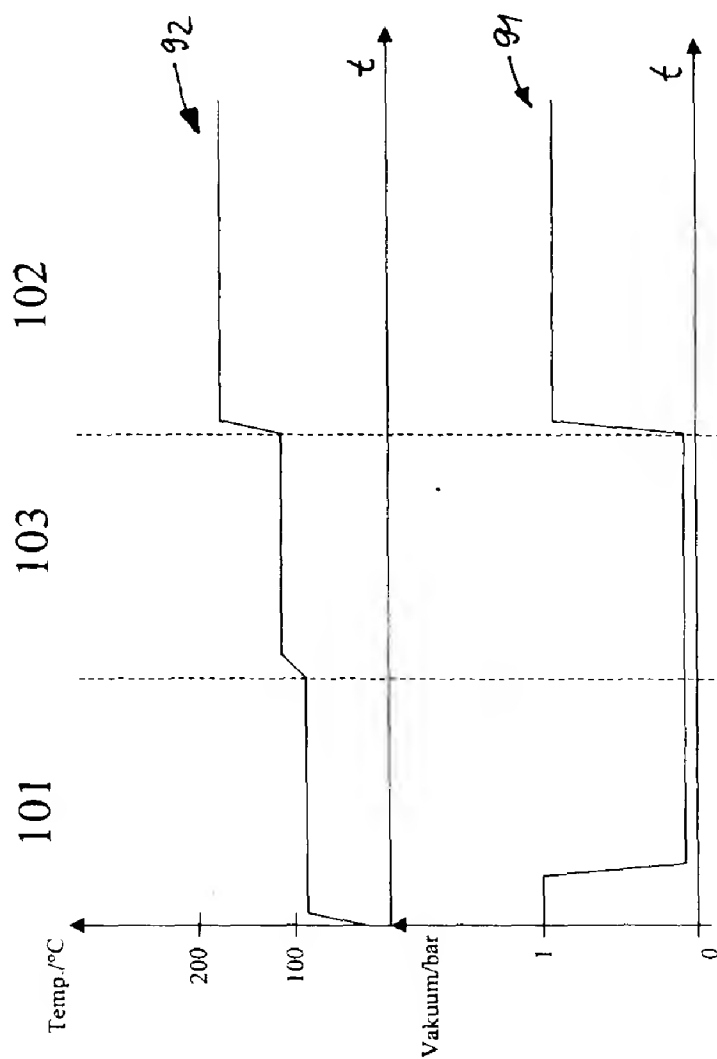


Fig. 5

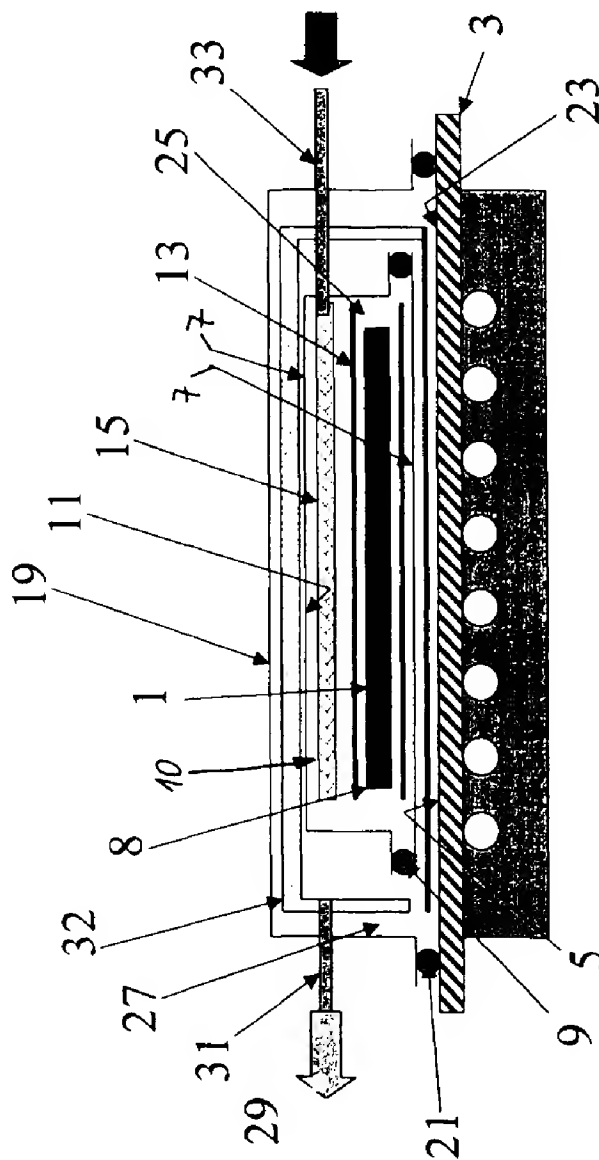


Fig. 6